

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P13-84-839

Е.А.Сокол, Ш.С.Зейналов, В.И.Смирнов,
Г.М.Тер-Акопян, Л.П.Челноков

ДЕТЕКТОР γ -КВАНТОВ
СПОНТАННОГО ДЕЛЕНИЯ

1984

ВВЕДЕНИЕ

В изучении низкоэнергетического деления ядер представляет интерес получение экспериментальных данных о кинетической энергии осколков, о масс-асимметрии, числе мгновенных нейтронов, числе и энергии γ -квантов. Распределения указанных величин позволяют делать определенные выводы относительно зависимости потенциальной энергии ядра от его деформации, а также выводы о влиянии оболочечных эффектов на динамику процесса деления. Для сравнения с теоретическими расчетами наиболее информативными являются данные, получаемые при корреляционных измерениях перечисленных выше величин.

Корреляционные измерения в области низкоэнергетического деления проводились разными авторами. Применение кремниевых поверхностно-барьерных детекторов для измерения кинетической энергии осколков деления позволяло получать хорошее разрешение по энергии ¹⁻³. При этом достаточно просто реализуется времяпролетная методика измерения скоростей осколков деления. По измеренным значениям скоростей и кинетических энергий можно определять массы осколков и число мгновенных нейтронов, испущенных каждым осколком ¹. В работе ² число мгновенных нейтронов определялось из результатов прямых измерений с использованием нейтронного детектора на основе жидкого сцинтиллятора. Введение быстрых совпадений с осколками деления и дискриминация по форме импульса позволили авторам указанной работы также измерить среднюю энергию γ -квантов, испускаемых при спонтанном делении ²⁵²Cf. Высокое разрешение по энергии при измерении спектра γ -квантов, испускаемых при делении, было достигнуто в ³ применением сцинтилляционного детектора с кристаллом NaJ(Tl) и системы, выделявшей события полного поглощения энергии γ -квантов.

В настоящей работе приводится описание аппаратуры, которая позволяет регистрировать мгновенные нейтроны и γ -кванты, испущенные в одном акте деления ядер. Такая установка была создана в процессе усовершенствования нейтронного детектора ЛЯР ОИЯИ.

1. КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УСТАНОВКИ

Расположение основных элементов установки иллюстрируется схематическим чертежом на рис.1. Часть аппаратуры, пред-

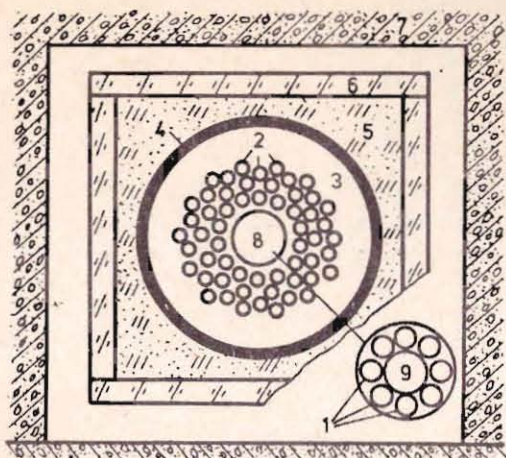


Рис.1. Расположение основных элементов установки. Цифрами обозначены: 1 - сцинтилляционные детекторы, 2 - счетчики нейтронов, 3 - замедлитель нейтронов, 5 - полиэтилен, 6 - пластические сцинтилляторы защиты от космического излучения, 7 - бетонная защита, 8 - чувствительный объем нейтронного детектора, 9 - объем для исследуемого образца.

назначенная для регистрации нейтронов, и система подавления фона, связанного с космическим излучением, подробно описаны в [4,5].

Детектор нейтронов представлял собой цилиндрический блок замедлителя диаметром 550 мм и высотой 700 мм. В центре блока имелся цилиндрический канал диаметром 200 мм, в котором размещался исследуемый образец и система регистрации γ -квантов. Пропорциональные ^3He -счетчики нейтронов располагались внутри замедлителя и равномерно окружали исследуемый образец. Нейтроны, возникающие при спонтанном делении, замедлялись в детекторе до тепловых скоростей за время около 1 мкс. Среднее время жизни теплового нейтрона в детекторе составляло $\tau \approx 20$ мкс, эффективность регистрации одиночных нейтронов из делительного спектра $E = 0,48$. Детектор нейтронов имел пассивную (бетон, 15 м.в.э.) и активную (система антисовпадений из пластических сцинтилляторов) защиту от космического излучения.

Регистрация γ -квантов осуществлялась десятью сцинтилляционными детекторами из германата висмута ($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$), имеющими модульную конструкцию. Каждый модуль состоял из цилиндрического сцинтиллятора диаметром 36 мм и высотой 142 мм, фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) и предусилителя (ПУ). Сцинтиллятор и ФЭУ соединялись световодом и помещались в светозащитный кожух. Высоковольтный делитель ФЭУ и ПУ конструктивно совмещались в едином корпусе и присоединялись к ФЭУ при помощи штепсельного разъема.

При делении ядер испускается в среднем около 8 γ -квантов и более 1 нейтрона на акт распада. Полное время испускания

γ -квантов не превышает 10 нс [6]. Поэтому регистрация множественной эмиссии γ -квантов из исследуемого образца считалась признаком спонтанного деления, по которому осуществлялся запуск схемы регистрации нейтронов [4].

Отбор событий множественной эмиссии γ -квантов осуществляется электронной системой, блок-схема которой представлена на рис.2. Основными элементами этой системы являлись цифровая мажоритарная схема совпадений (МСС) [7] и электронный коммутатор (ЭК). МСС имела 12 входов и регистрировала события с числом совпадений, большим некоторого граничного числа. Граничное число совпадений задавалось вручную.

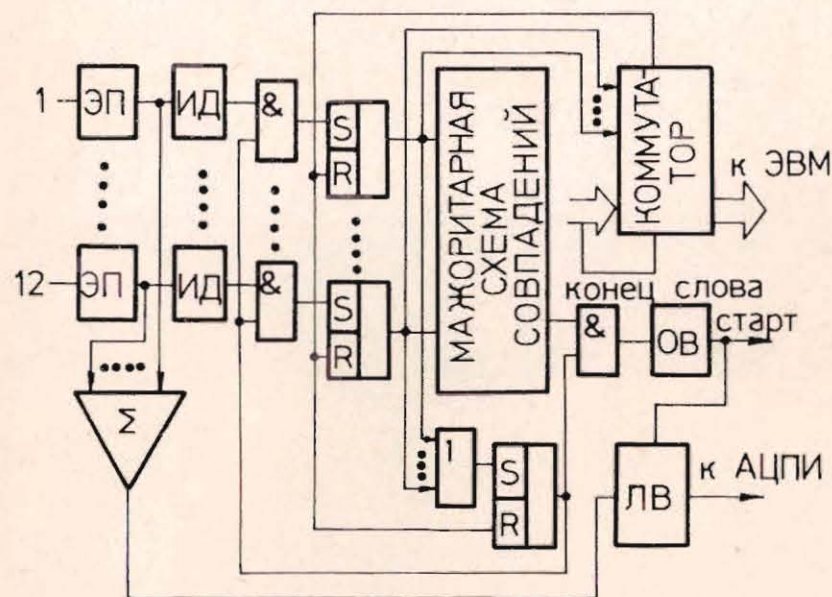


Рис.2. Блок-схема электронной системы. Сокращения описаны в тексте.

Сигнал "старт" МСС осуществлял запуск схемы регистрации нейтронов и управлял линейными воротами (ЛВ). На вход ЛВ поступал суммарный сигнал от детекторов γ -квантов.

Коды номеров сработавших детекторов γ -квантов запоминались RS-триггерами на 256 мкс. Это время было необходимо для регистрации нейтронов. После окончания регистрации нейтронов информация о них поступала на ЭК, где к ней добавлялись коды номеров сработавших детекторов γ -квантов. Таким образом, полная информация о зарегистрированном событии деления включала: коды номеров сработавших счетчиков нейтронов и γ -кван-

тов, времена регистрации нейтронов относительно стартового сигнала и код амплитуды суммарного сигнала от детекторов γ -квантов. Кроме этого, события, совпавшие по времени с регистрацией мюонов системой активной защиты детектора нейтронов, дополнялись меткой.

Таблица 1

Команды	Краткое описание функций
SA	Начало измерений. По этой команде производится очистка буферов, отведенных для запоминания спектров, и сброс таймера.
HA	Конец измерений. По этой команде прекращается сбор данных и останавливается таймер.
LX α	Эта команда задает масштаб по оси абсцисс. Число каналов, отображаемых на экране дисплея, равно 2^{α}
LY α	Задает масштаб по оси ординат. Осуществляет сжатие вдоль оси ординат в 2^{α} раз.
SP α	Осуществляет сдвиг по оси абсцисс на α каналов вправо.
AX α	Перемещает маркер А в канал с номером α
BX α	Перемещает маркер В в канал с номером α
OS	Выводится суммарное число отсчетов между маркерами
DS α, β	Отображает на дисплее спектр для числа нейтронов α и числа γ -квантов β .
AS α, β	По этой команде осуществляется передача в выходной регистр спектра для числа нейтронов α и числа γ -квантов β
DT	По этой команде на дисплее отображается спектр, просуммированный для всех чисел нейтронов и фотонов.

2. ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА

Сбор, декодирование, накопление и анализ поступающей информации в реальном масштабе времени, осуществляла микро-ЭВМ "MACAMAC" фирмы Boreg. Программные средства реализовали интерактивный режим работы экспериментатора с системой посредством командного видеотерминала^{/8/}. Конфигурация системы показана на блок-схеме рис.3. В табл.1 представлены список допустимых команд и краткое описание их функций. Команды состояли из двух латинских букв и одного или двух аргументов, разделенных запятой. Для индикации различных распределений экспериментальных данных использовался графический дисплей на базе телевизора.

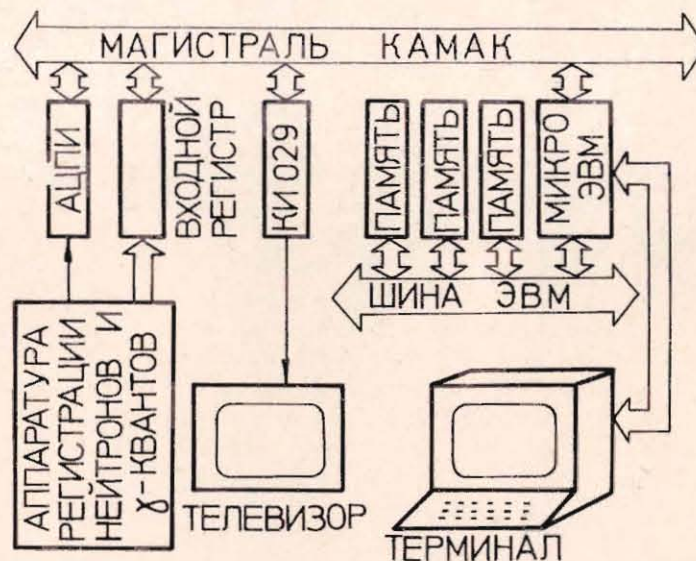


Рис.3. Блок-схема системы сбора, декодирования, накопления и представления экспериментальных данных.

3. КАЛИБРОВОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Калибровка детектора γ -квантов по энергии осуществлялась по положению фотопиков от источников ^{54}Mn , ^{60}Co и Pu-Be (энергии γ -квантов 834 кэВ, 1230 кэВ, 4420 кэВ соответственно). Аппаратурные спектры для этих источников показаны на рис.4.

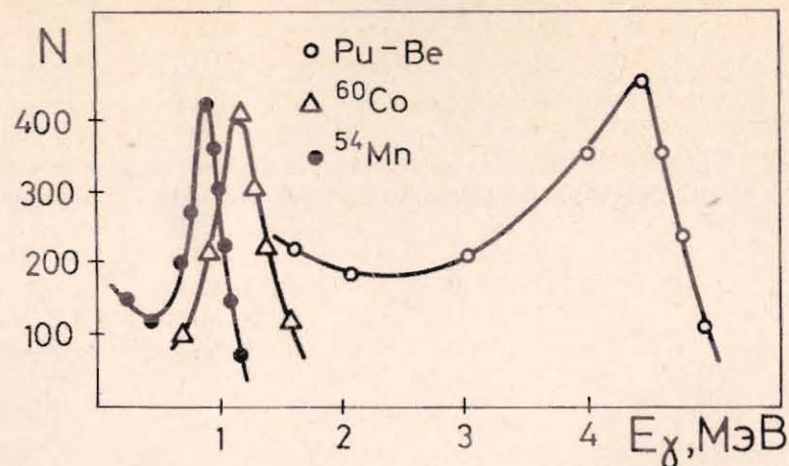


Рис.4. Аппаратурные энергетические спектры для калибровочных источников.

Дальнейшие калировки выполнялись с закрытым препаратом ^{252}Cf . Отбор событий спонтанного деления осуществлялся при анализе информации. В последующем рассмотрении учитывались только те события, в которых помимо нескольких γ -квантов ($N_\gamma \geq 2$) регистрировался хотя бы один нейтрон ($N_n \geq 1$). При таких условиях были измерены вероятности регистрации различного числа γ -квантов при спонтанном делении ^{252}Cf . Результаты измерений представлены в табл.2. Среднее число γ -квантов, регистрируемых аппаратурой на один распад, составило

Таблица 2

Вероятности $P(N_\gamma)$ регистрации событий различной множественности γ -квантов при множественности зарегистрированных нейтронов $N_n \geq 1$.

N_γ	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P(^{252}\text{Cf})$	0,066	0,170	0,240	0,225	0,170	0,08	0,03	0,015	0,005
$P(\text{Фон})$	0,048	0,086	0,072	0,036	0,037	0,056	0,070	0,233	0,362

$\nu_\gamma(^{252}\text{Cf}) = 4,75 \pm 0,02$. Аппаратурные энергетические спектры для различных чисел зарегистрированных γ -квантов и нейтронов приведены на рис.5. На рис.6 представлен спектр, просуммирован-

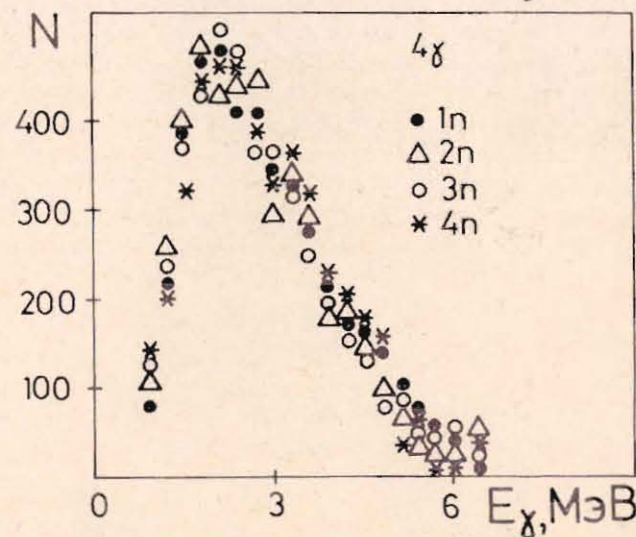
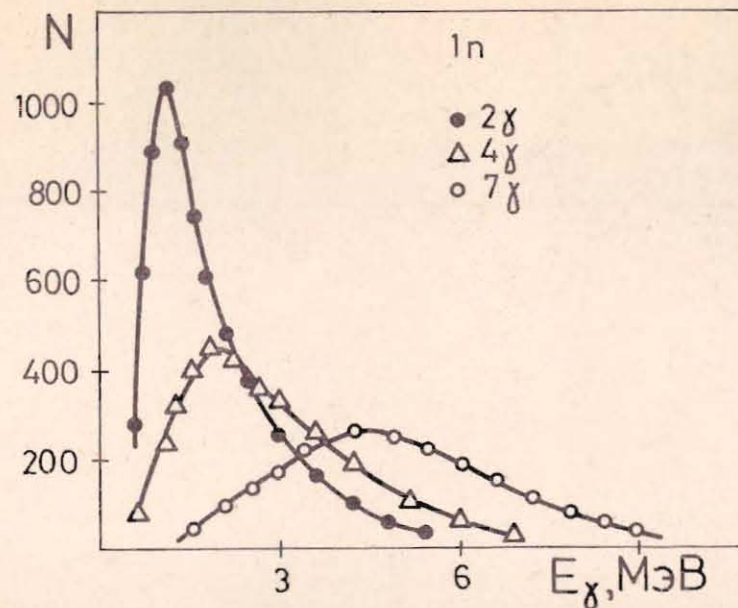


Рис.5. Аппаратурные энергетические спектры для различного числа зарегистрированных γ -квантов и нейтронов при спонтанном делении ^{252}Cf . Спектры нормированы по площади.

ный для всех возможных чисел нейтронов и γ -квантов. Сравнение суммарного спектра γ -квантов с данными, приведенными в работах ^{2,3}, показывает, что они находятся в качественном соответствии.

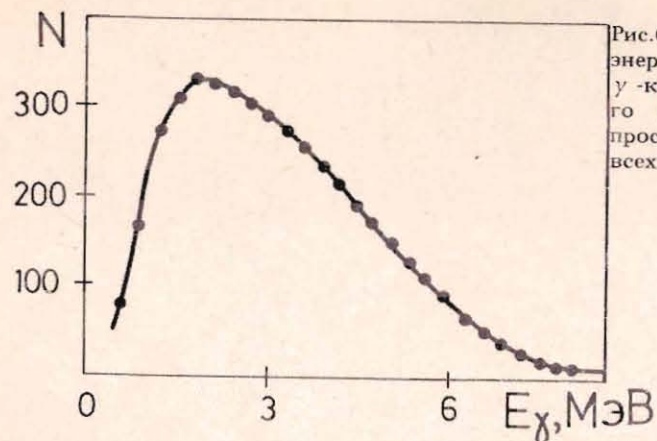


Рис.6. Аппаратурный энергетический спектр γ -квантов спонтанного деления ^{252}Cf , просуммированный для всех $N_\gamma \geq 2$ и $N_p \geq 1$.

4. ФОНОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Фон детектора γ -квантов определялся естественной радиоактивностью (одиночные отсчеты, их случайные совпадения и совпадения из-за перерассеяния γ -квантов в соседние сцинтилляторы) и космическими лучами. Распределение фоновых событий по суммарной энергии γ -квантов, полученное в течение трехдневных измерений, представлено на рис.7. Это распределение включает только такие события, для которых $N_\gamma \geq 3$ и $N_p \geq 1$. В области $E < 4$ МэВ, по мере уменьшения энергии, наблюдается экспоненциальный рост числа событий, которые, очевидно, обусловлены естественной радиоактивностью. Число событий



Рис.7. Энергетический спектр фоновых событий с $N_\gamma \geq 3$ и $N_p \geq 1$.

в этой области соответствует случайным совпадениям γ -квантов с одиночными отсчетами нейтронного детектора. В диапазоне $4 \leq E \leq 9$ МэВ было зарегистрировано 11 событий, которые совпали с регистрацией мюонов системой активной защиты нейтронного детектора. Было зарегистрировано около 200 событий с суммарной энергией, выделенной в сцинтилляторах, $E > 9$ МэВ. По-видимому, такие события были вызваны взаимодействиями космических лучей.

Различие в спектрах ^{252}Cf и фона использовалось для подавления фоновых отсчетов. В табл.3 приведены минимальные (E_{\min}) и максимальные (E_{\max}) пределы суммарных энергий γ -квантов, внутри которых находилось 90% событий с различными числами зарегистрированных γ -квантов при спонтанном делении ^{252}Cf . Такие пределы использовались для отделения полезных событий от

Таблица 3

Пределы (E_{\min} и E_{\max}) суммарной измеренной энергии γ -квантов для различных N_γ , внутри которых находилось 90% событий спонтанного деления ^{252}Cf

N_γ		2	3	4	5	6	7
E_{\min}	(МэВ)	0,75	0,75	0,75	1,0	1,4	1,8
E_{\max}	(МэВ)	3,0	4,3	5,5	6,7	7,0	7,5

фоновых. В табл.4 приведены абсолютные числа фоновых событий с различными числами N_γ и N_p . Данные получены в измерениях, проводившихся 5 суток. Вероятность $P(N_\gamma)$ наблюдения фоновых событий с различными N_γ представлены в табл.2. Эти вероятности получены на основании данных, приведенных в табл.4. Сравнение с аналогичным распределением для ^{252}Cf показало, что исключение событий с $N_\gamma > 7$ приводит к потере около 5% событий деления и к снижению абсолютной величины фона на 60%.

Как видно из табл.4, основной вклад в фон давали события с $N_\gamma = 2$ и $N_p = 1$. Это обусловлено тем, что детектор γ -квантов имеет максимальный фон с $N_\gamma = 2$, а детектор нейтронов с $N_p = 1$. Этот фон вызван естественной радиоактивностью конструкционных материалов. Исключение событий с $N_\gamma = 2$ и $N_p = 1$ приводило к уменьшению эффективности регистрации спонтанного деления на 8% и к снижению числа фоновых отсчетов в 5 раз.

Таблица 4

Числа фоновых событий с данными N_n и N_γ за 5 суток измерений. Для каждой комбинации N_n и N_γ в столбцах указаны следующие данные: полное число событий с данными N_n и N_γ ; число событий, не совпавших с регистрацией мюонов системой активной защиты детектора нейтронов; полное число событий с энергией в заданных пределах; число событий, не совпавших с регистрацией мюонов системой активной защиты детектора нейтронов с энергией в заданных пределах.

$N_n \backslash N_\gamma$	1	2	3	4	5	6
2	299 24 144 17	33 3 14 0	11 1 2 0	2 0 1 0	1 0 1 0	0 0 0 0
3	330 13 188 2	48 1 24 0	8 0 2 0	4 0 1 0	0 0 0 0	1 0 0 0
4	239 5 114 1	39 1 23 0	13 1 8 0	5 0 1 0	3 1 1 0	2 0 0 0
5	186 3 85 1	25 0 13 0	2 0 0 0	4 0 2 0	5 0 1 0	3 0 1 0
6	174 0 51 0	35 1 6 0	10 0 0 0	6 0 4 0	2 0 1 0	1 0 0 0
7	248 0 28 0	50 0 4 0	12 0 1 0	2 0 1 0	2 0 1 0	6 0 0 0
8	2325 - - -	445 - - -	159 - - -	62 - - -	41 - - -	33 - - -

Поэтому в качестве событий спонтанного деления рассматривались только те, в которых было зарегистрировано от 3 до 7 γ -квантов в случае наблюдения 1 нейтрона и от 2 до 7 γ -квантов для $N_n \geq 2$, при суммарных энергиях γ -квантов, лежащих в пределах, приведенных в табл.3. При таких условиях отбора эффек-

тивность регистрации событий спонтанного деления ^{252}Cf равнялась 0,8 а число фоновых событий составило менее одного в день, причем не наблюдалось ни одного фонового события с $N_n \geq 2$.

Для сравнения отметим, что при регистрации редких актов спонтанного деления фон детектора нейтронов составлял около 80 одиночных отсчетов в час и около 1 события в день с множественностью $N_n \geq 2$. При этом эффективность регистрации спонтанного деления ^{252}Cf была около 0,5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совместное использование описанного детектора γ -квантов и детектора нейтронов позволило проводить одновременное измерение числа нейтронов, числа и энергии γ -квантов при спонтанном делении. Это позволило повысить надежность отбора событий спонтанного деления при наблюдении редких ядерных распадов, например, при поиске сверхтяжелых элементов в природе. С другой стороны, описанная система может быть дополнена, например, поверхностно-барьерными кремниевыми детекторами для измерения кинетических энергий осколков деления, и, таким образом, она позволит получать полную информацию о процессе деления.

Авторы выражают глубокую благодарность Г.Н.Флерову и Ю.Ц.Оганесяну за постановку и большую поддержку данной работы.

ЛИТЕРАТУРА

- Müller R. et al. Phys.Rev., 1984, C29, p.885.
- Nifenecker H. et al. Nucl.Phys., 1972, A189, p.285.
- Verbinski V.V. et al. Phys.Rev., 1973, C7, p.1173.
- Тер-Акопьян Г.М. и др. ОИЯИ, P13-81-18, Дубна, 1981.
- Sokol E.A. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1984, vol.219A, p.336-338.
- Johansson S.A.E. Nucl.Phys., 1964, 60, p.378.
- Рехин Е.М. и др. Метод совпадений. Атомиздат, М., 1979.
- Зейналов Ш.С. и др. ОИЯИ, P13-84-454, Дубна, 1984.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 декабря 1984 года.

СООБЩЕНИЯ, КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ, ПРЕПРИНТЫ И СБОРНИКИ ТРУДОВ КОНФЕРЕНЦИЙ, ИЗДАВАЕМЫЕ ОБЪЕДИНЕННЫМ ИНСТИТУТОМ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ЯВЛЯЮТСЯ ОФИЦИАЛЬНЫМИ ПУБЛИКАЦИЯМИ.

Ссылки на СООБЩЕНИЯ и ПРЕПРИНТЫ ОИЯИ должны содержать следующие элементы:

- фамилии и инициалы авторов,
- сокращенное название Института /ОИЯИ/ и индекс публикации,
- место издания /Дубна/,
- год издания,
- номер страницы /при необходимости/.

Пример:

1. Первушин В.Н. и др. ОИЯИ, P2-84-649, Дубна, 1984.

Ссылки на конкретную СТАТЬЮ, помещенную в сборнике, должны содержать:

- фамилии и инициалы авторов,
- заглавие сборника, перед которым приводятся сокращенные слова: "В кн."
- сокращенное название Института /ОИЯИ/ и индекс издания,
- место издания /Дубна/,
- год издания,
- номер страницы.

Пример:

Колпаков И.Ф. В кн. XI Международный симпозиум по ядерной электронике, ОИЯИ, Д13-84-53, Дубна, 1984, с.26.

Савин И.А., Смирнов Г.И. В сб. "Краткие сообщения ОИЯИ", № 2-84, Дубна, 1984, с.3.

Сокол Е.А. и др.

P13-84-839

Детектор γ -квантов спонтанного деления

Описан детектор γ -квантов спонтанного деления ядер. Данный детектор использовался совместно с низкофоновым нейтронным детектором с ^3He -счетчиками для регистрации редких событий спонтанного деления. Дополнение детектора нейтронов детектором γ -квантов позволило увеличить информацию о каждом зарегистрированном событии, благодаря чему было достигнуто снижение фона установки при регистрации редких событий спонтанного деления ядер. При эффективности регистрации спонтанного деления $\epsilon = 0,8$ (для ^{252}Cf) фон составил около одного события, в котором регистрировался один нейтрон и не менее трех γ -квантов в сутки. Приведены аппаратные энергетические спектры и распределения по множественности γ -квантов спонтанного деления ^{252}Cf .

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Sokol E.A. et al.

P13-84-839

Detector for Spontaneous Fission γ -Quanta

A detector designed to register γ -quanta emitted in spontaneous fission of nuclei is described. It was used together with a neutron detector with ^3He -counters designed to register rare events of spontaneous fission. An additional γ -quanta detector used with the neutron detector permitted to increase an information on every event registered. It allowed to decrease the background of installation when detecting spontaneous fission rare events. At the detection efficiency for spontaneous fission $\epsilon = 0.8$ (for ^{252}Cf) the background of detector was about one event, in which one neutron and not less than 3 γ -quanta were registered per day. Apparatus energy spectra, distributions over multiplicity of γ -quanta of spontaneous fission in ^{252}Cf are presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984